



**ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН)**

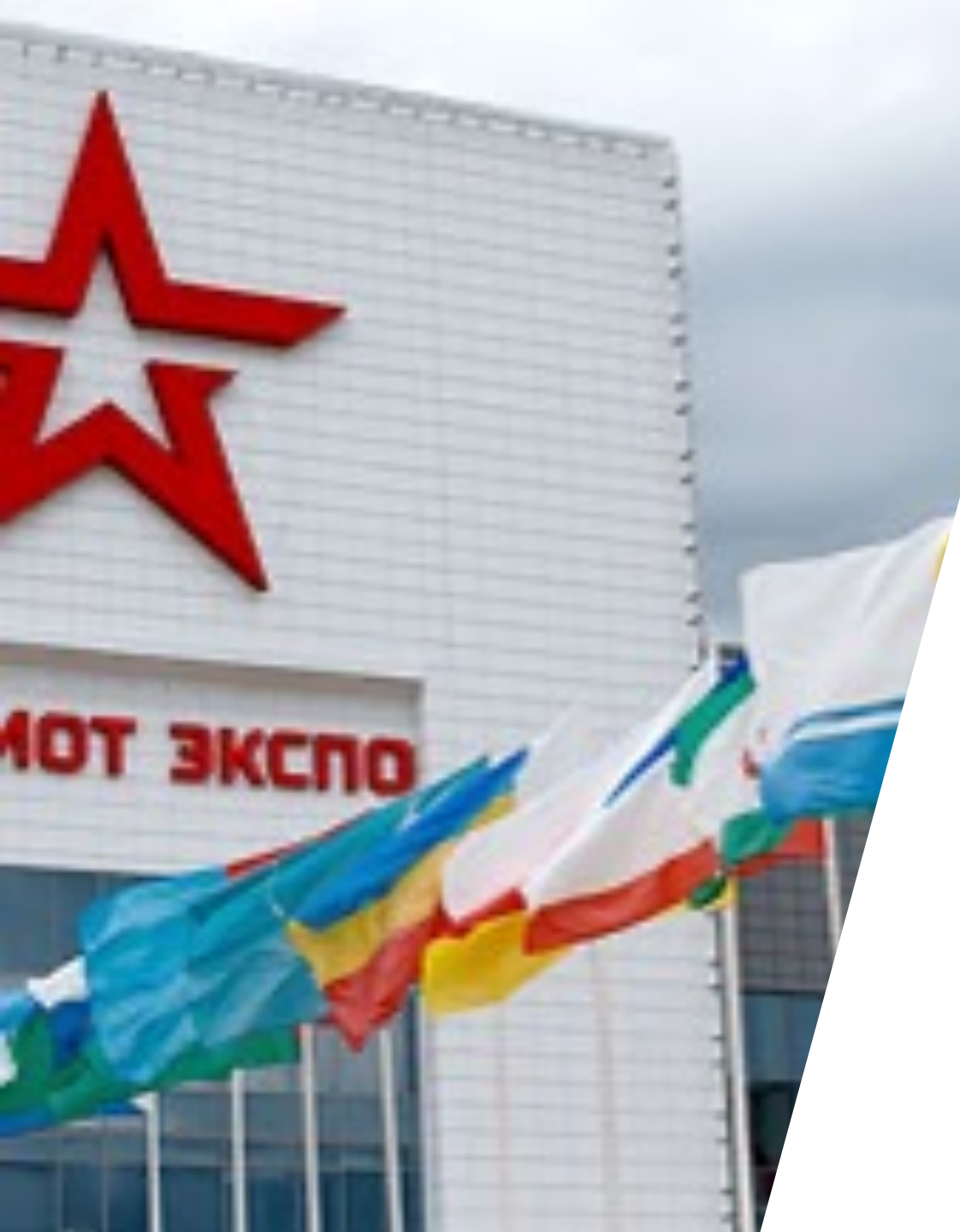


# Сенсорные системы диагностики функционального состояния человека с применением информационных технологий обучения и распознавания образов

Мазинг Мария Сергеевна, Зайцева Анна Юрьевна

аспирант 2-ого года обучения, младший научный сотрудник,  
лаборатории ФГБУН ИАП РАН,

18 октября 2023 г.



**Medical**

Nano-based materials

**LAB-ON-A-CHIP**

**WEARABLE BIOSENSORS**

**NANOTECHNOLOGY**

**POINT-OF-CARE**

**INTERNET OF THINGS (IoT)**

**TEAR-BASED**

**RAPID**

**GLUCOSE LEVEL**

**SMART-WATCH**

**CLOUD STORAGE**

**BLOOD PRESSURE**

**PULSE RATE**

**NON-INVASIVE**

**SODIUM LEVEL**

**MICROFLUIDIC-BASED**

**5-G**

**UREA LEVEL**

**HEALTHCARE**

**SALIVA-BASED**

**IMPLANTABLE**

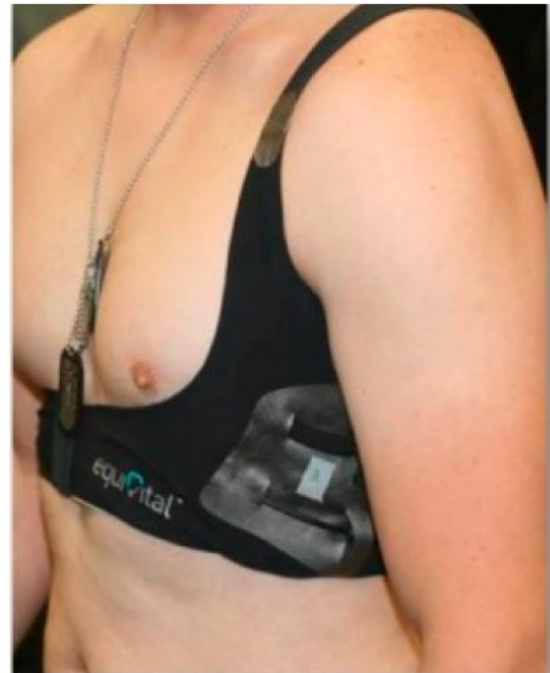
**BASED**

# МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

# Существующие аналоги- «НОСИМЫЕ ДАТЧИКИ»



# Прототип СМФС

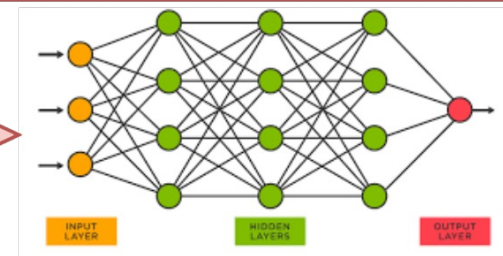
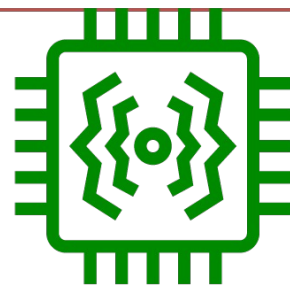
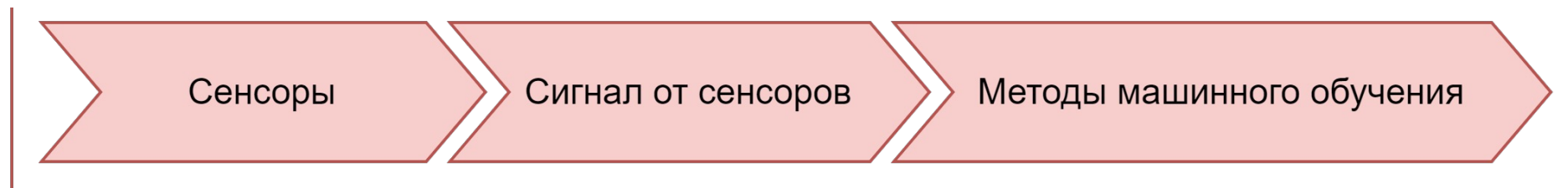


[CISA Integrated Soldier Sensor System (ISSS) [ISSS. Technical Statement of Need: Integrated Soldier Sensor Suite. Statement of Work, (2012). ISSS. Integrated Soldier Sensor System. FedBizOpps.gov. <https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=ff92a1f049411d67e4608b4c7f13612&tab=core&tabmode=list&=&>. (2013). (Access date: 12 Mar 2015).]

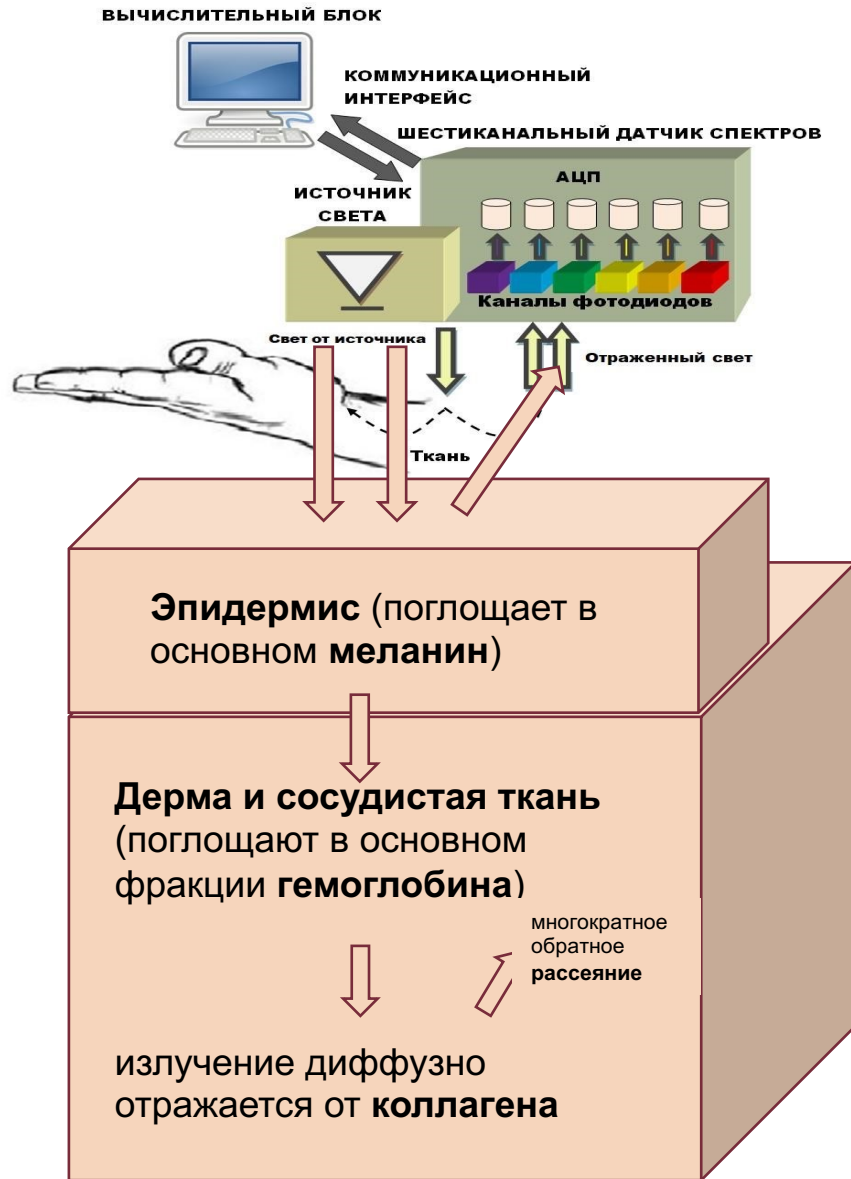
EQ02+ LifeMonitor and Black Ghost, Hidalgo Equivital  
Продукт широко используется в США

# Конструктивные и схемотехнические решения системы мониторинга функционального состояния

МЕТОД = СЕНСОРЫ + МАТЕМАТИКА



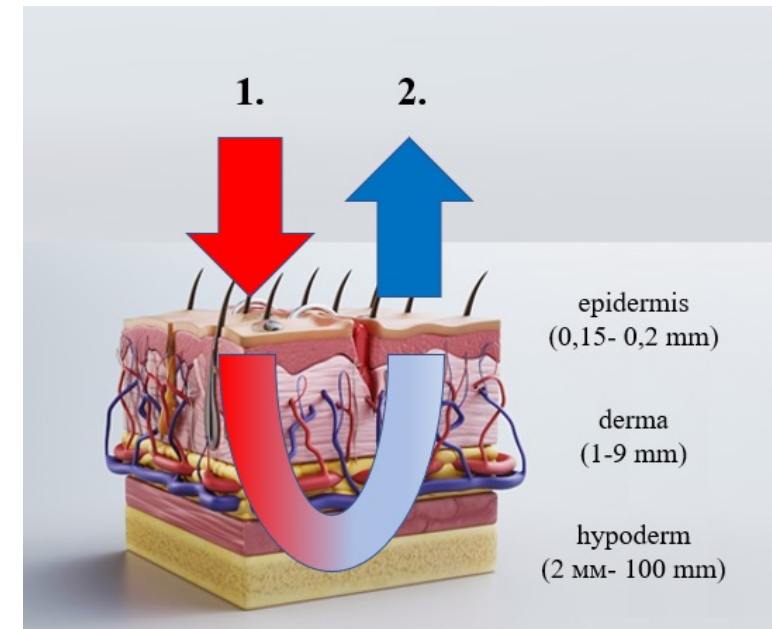
# Методы



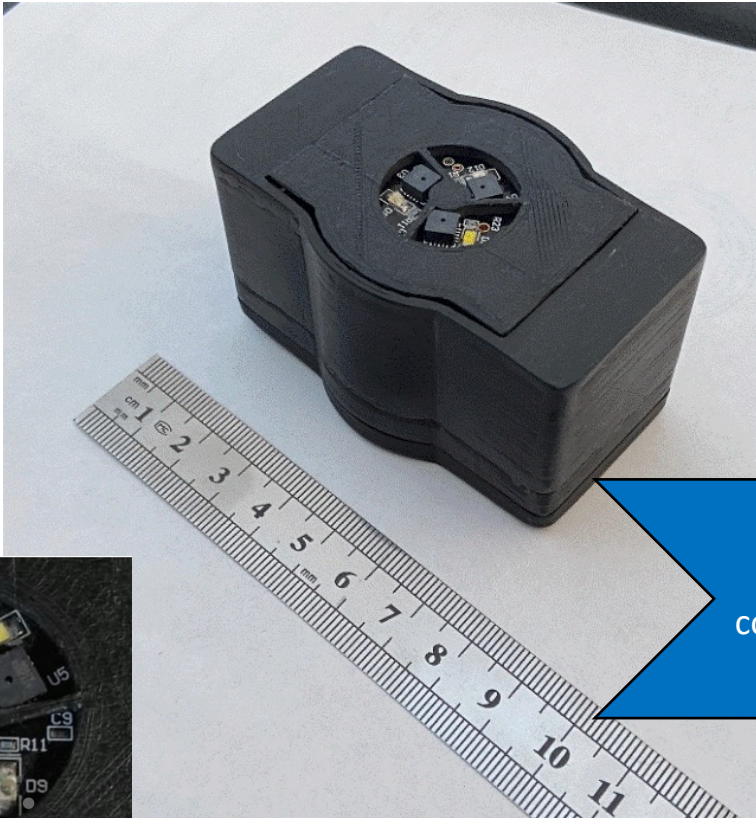
Оптическая тканевая оксиметрия (ближний ИК) +

методика двухлучевой спектрофотометрии (660 нм, 940 нм)

Измерение кислородной сатурации (оксигенации) крови +  
+пульсоксиметрия +  
общий уровень кровенаполнения микроциркуляторного русла



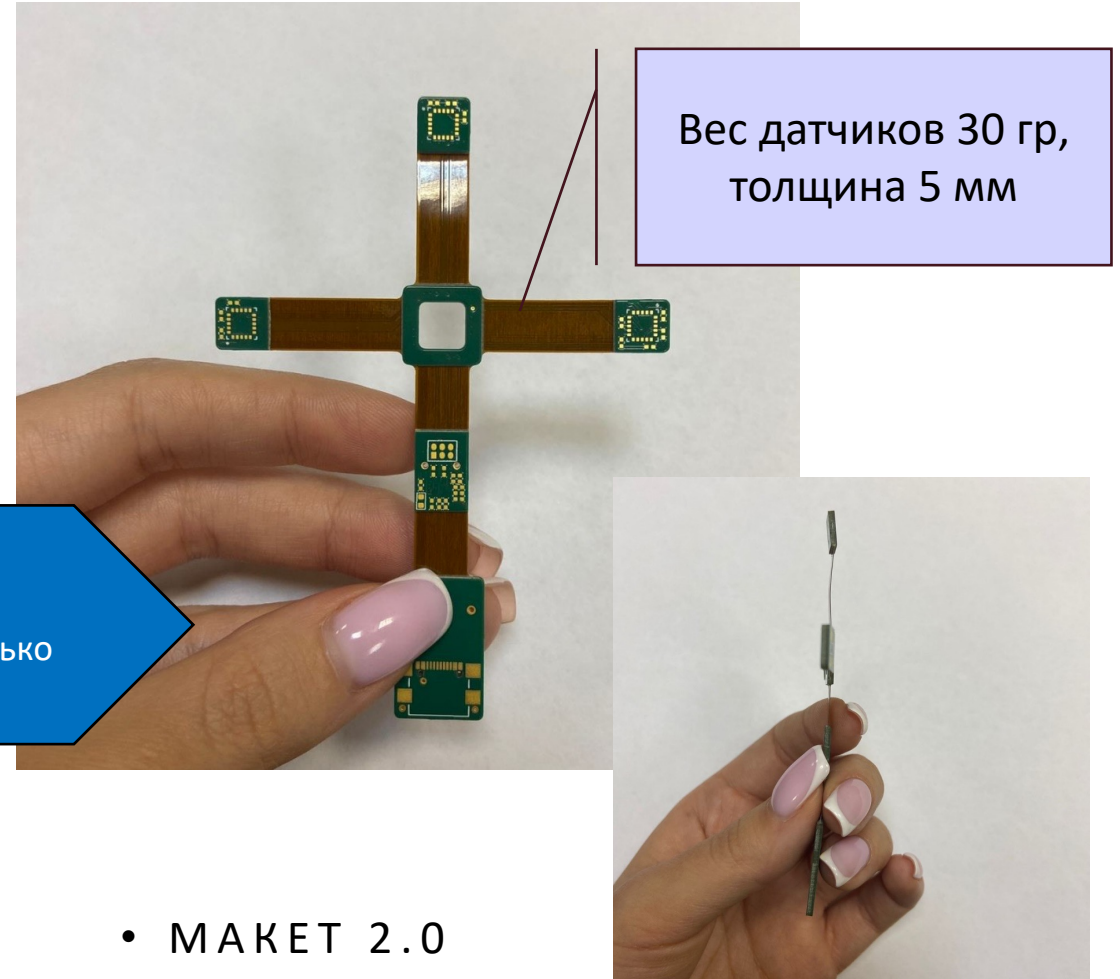
# Макет СМФС



Те же датчики.  
Чувствительность  
сохранена, изменена только  
гибкая плата

## • МАКЕТ 1.0

- беспроводная передача данных
- специальное ПО
- адаптивность под решаемые задачи

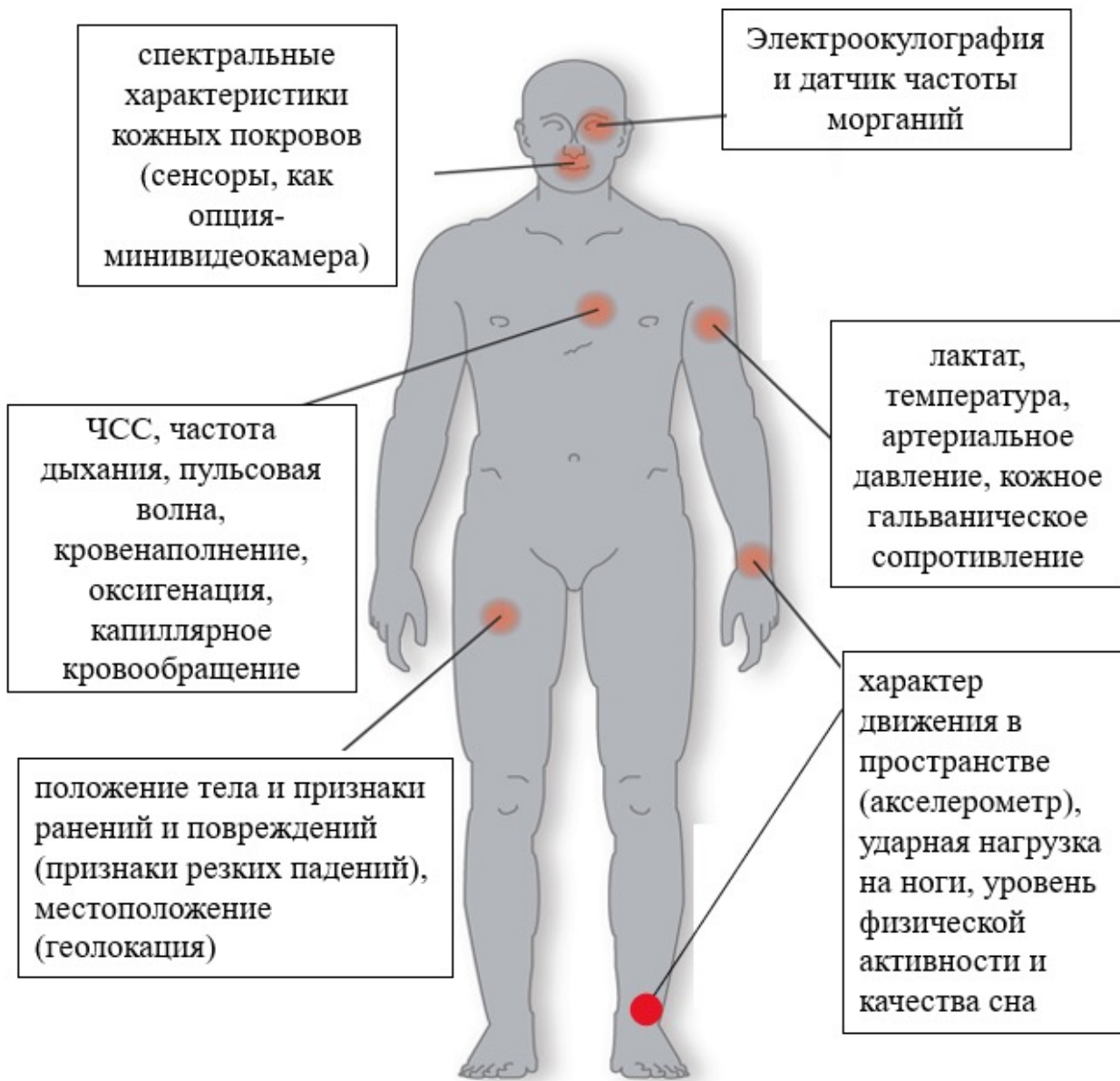
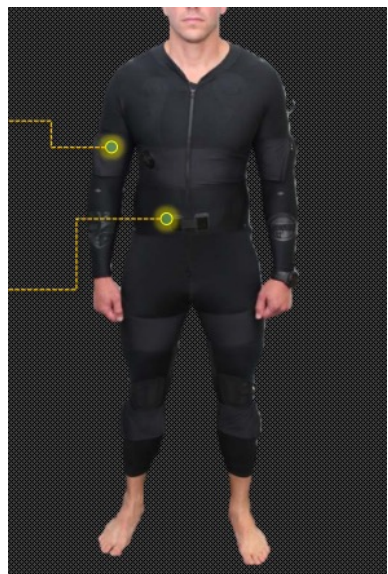


## • МАКЕТ 2.0

- выдающиеся массогабаритные характеристики
- анализ с помощью мат. модели искусственного интеллекта
- обучаемая система



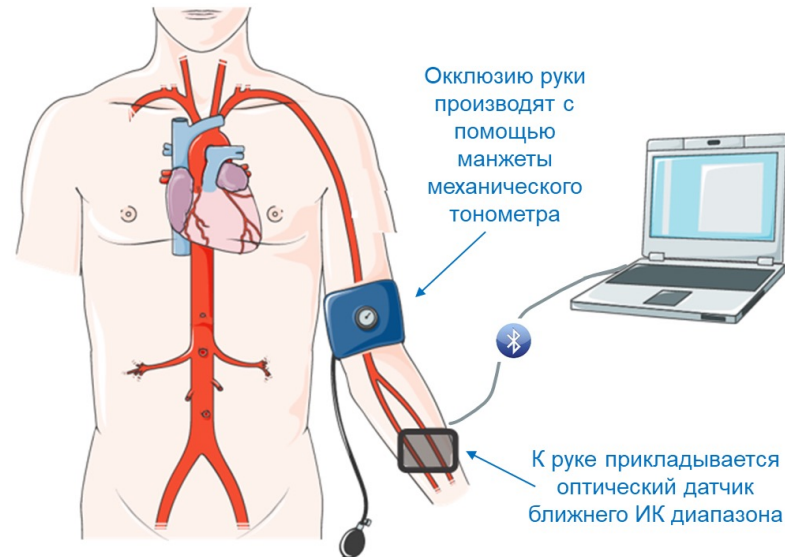
# Варианты расположения датчиков СМФС



## Пример работы макетного образца разработки ИАП РАН

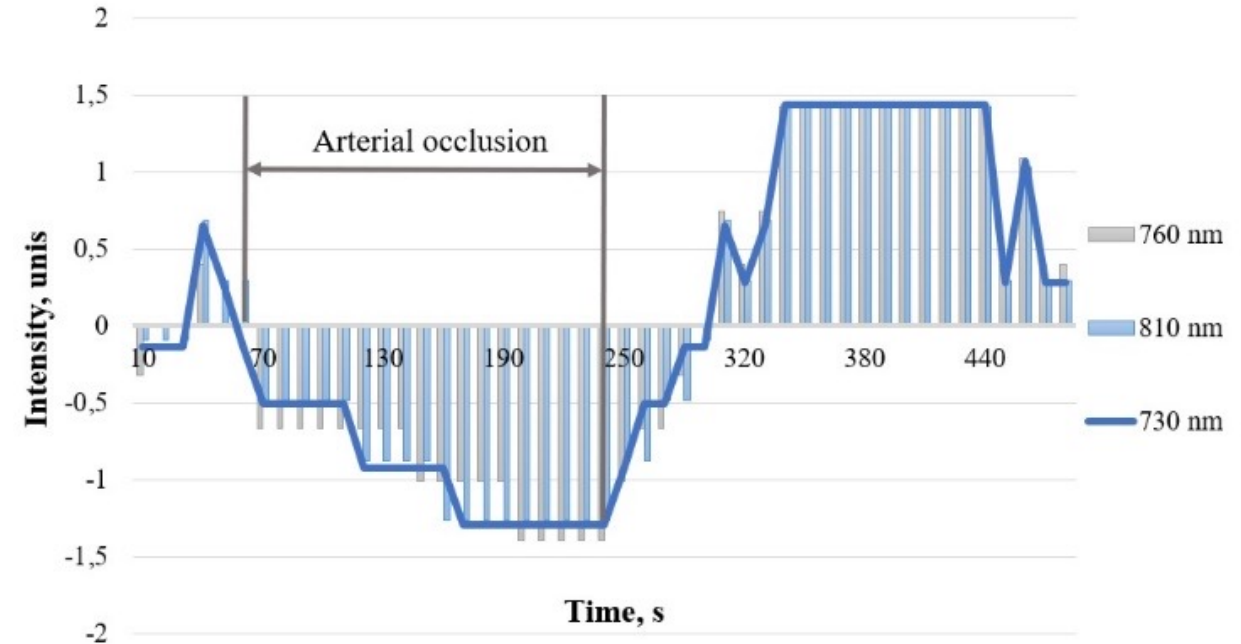
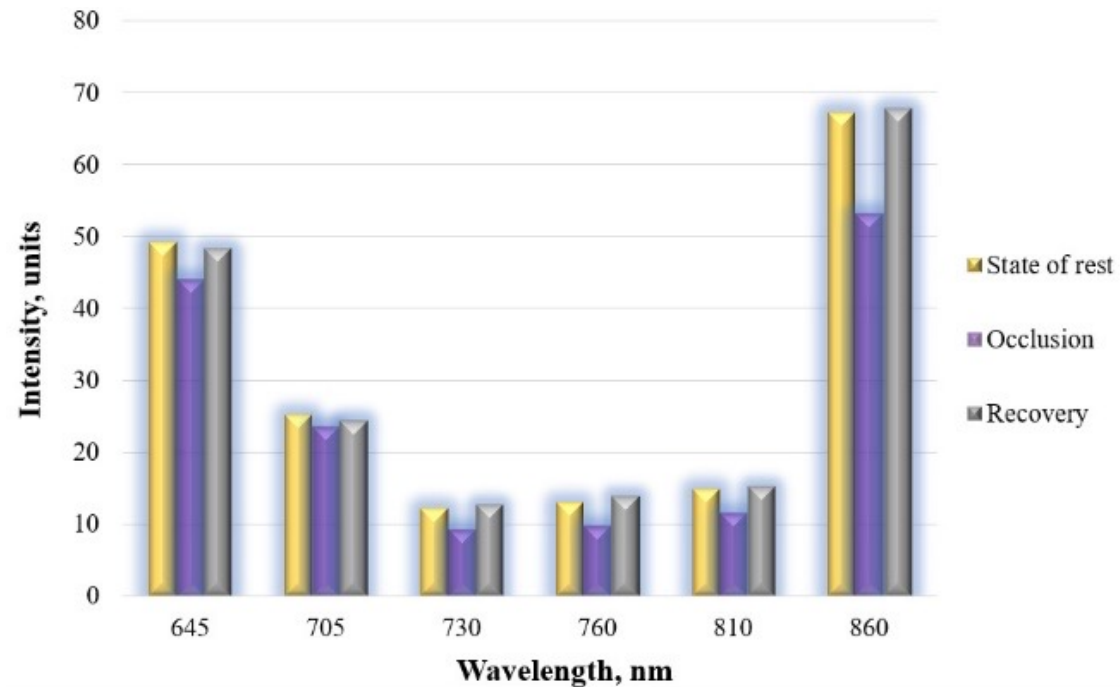


# Экспериментальные исследования, версия 1.0



Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова

## Изменения показателей МТС организма человека

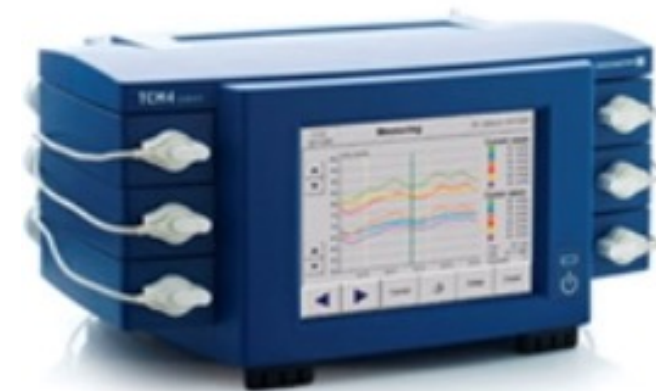


Изменения показателей микроциркуляции при проведении нагрузочной функциональной пробы (окклюзии) верхних конечностей. Тканевой кровотока для различных длин волн ближнего ИК диапазона(а) и его изменение во времени (б)

## Экспериментальные исследования, версия 1.0



## Сравнение с методом транскутанной тканевой оксиметрии



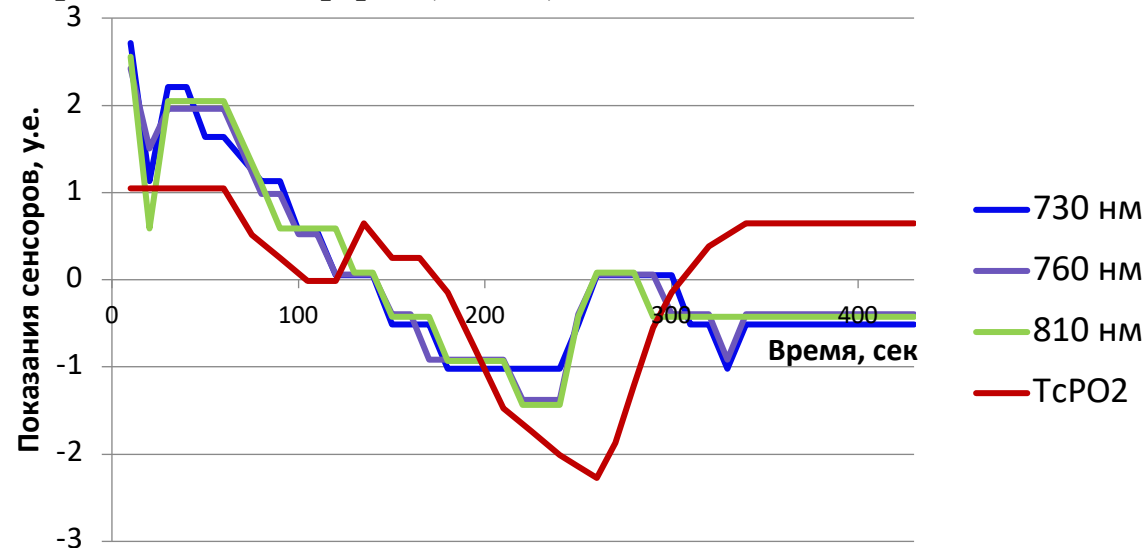
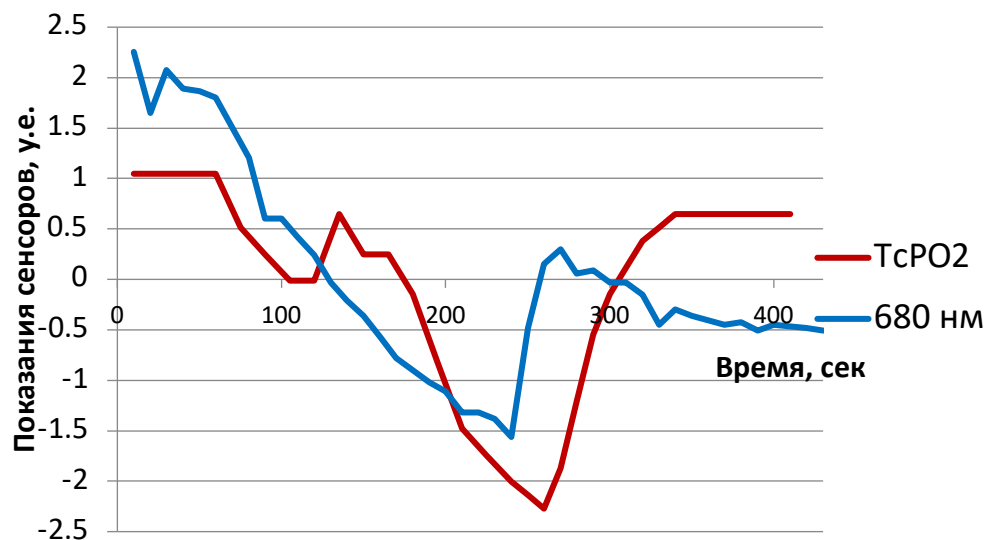
  
Северо-Западный  
федеральный медицинский  
исследовательский центр  
им. В.А. Алмазова

одновременно с  
транскутанным  
тканевым  
оксиметром

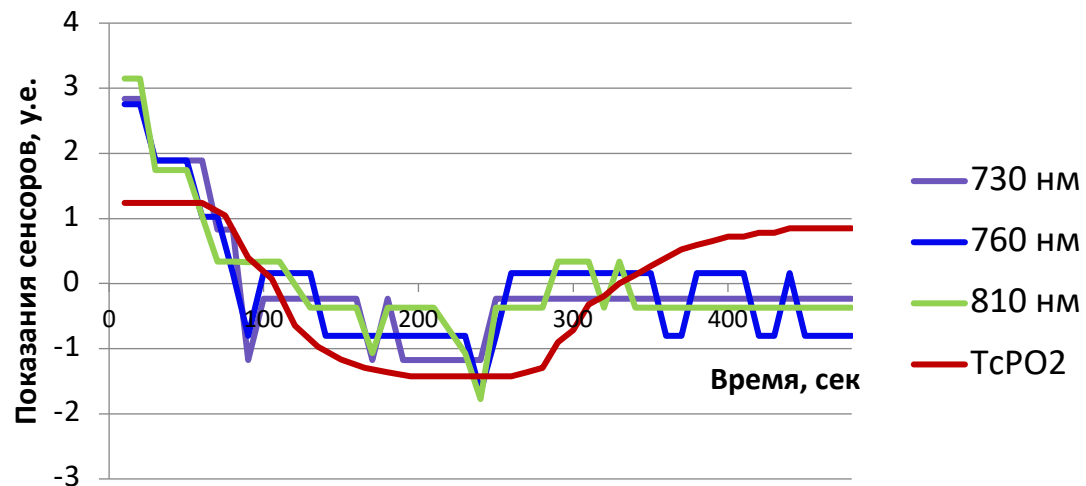
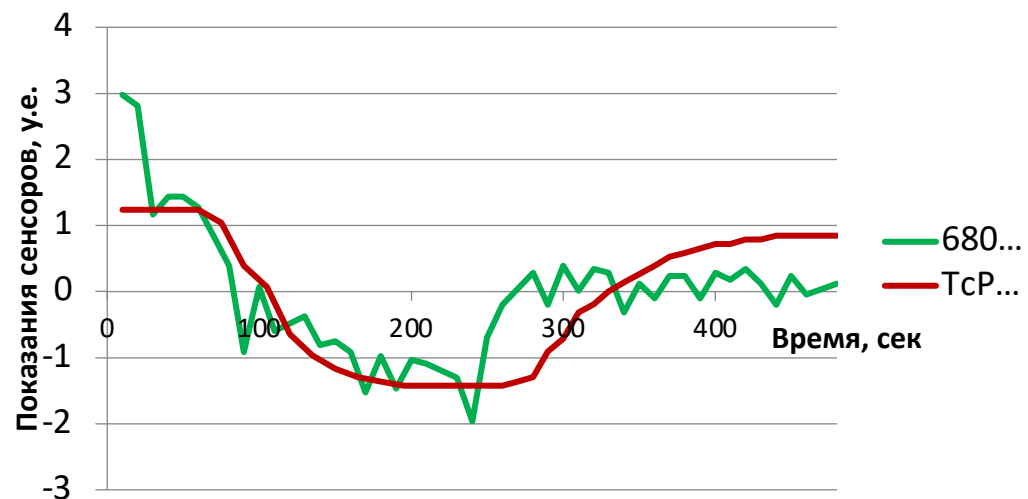


# Корреляция со стандартным медицинскими методами

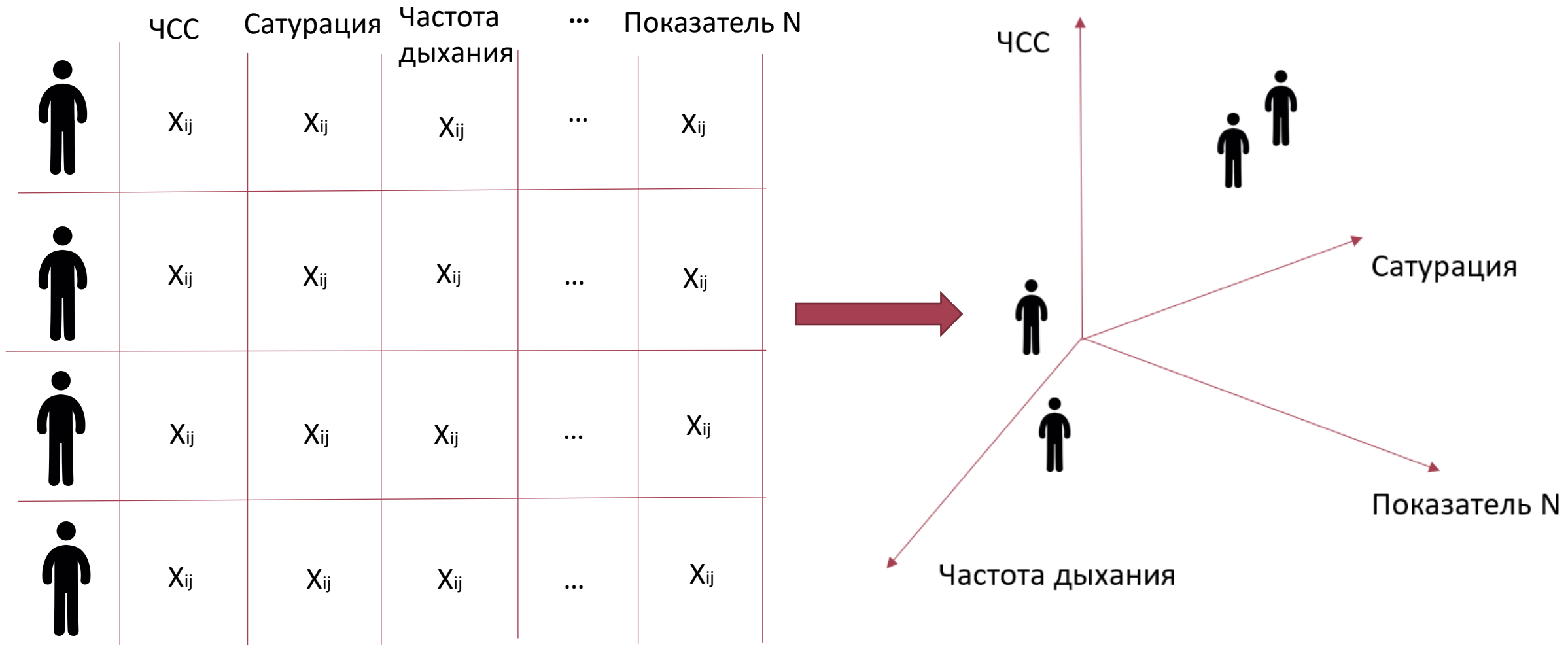
Пациент №2. Женщина. 63 года. Сахарный диабет, перенесенный инфаркт (2020 г.)



Пациент №3. Мужчина. 69 лет. Сахарный диабет, перенесенный инфаркт (2020 г.)



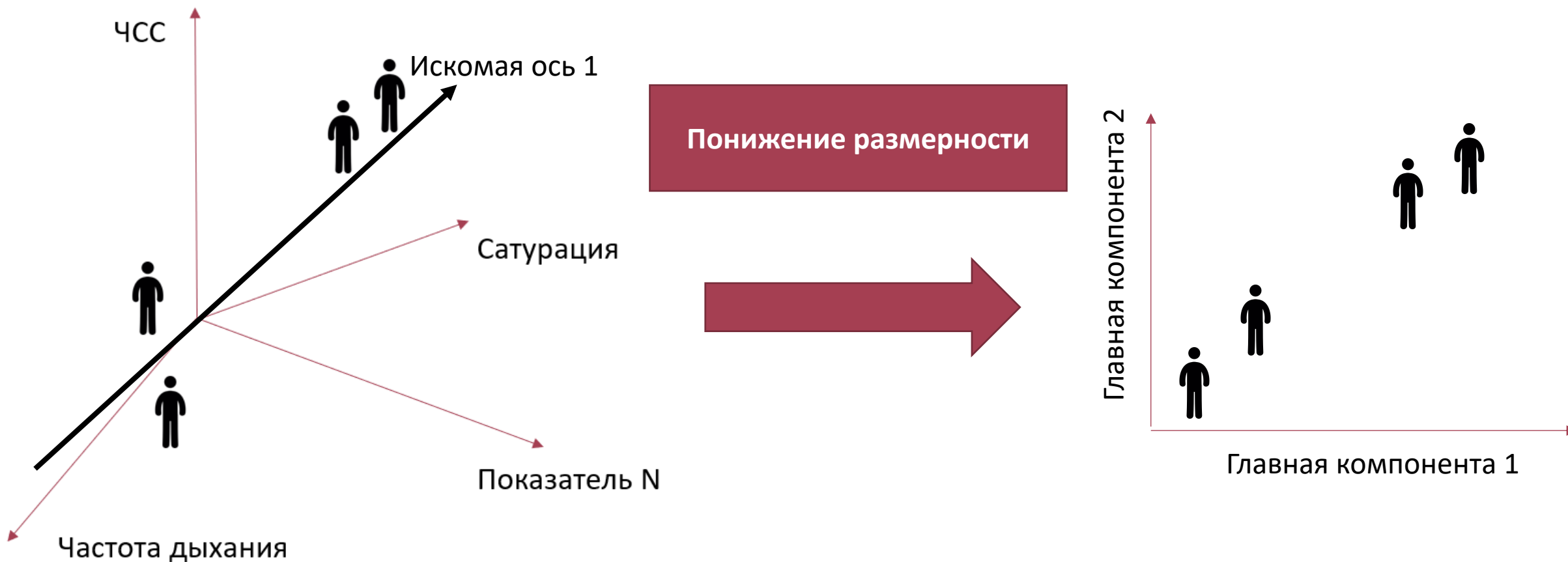
# Обработка



При получении сигналов сразу с нескольких датчиков мы получаем целый ряд показателей для каждого человека

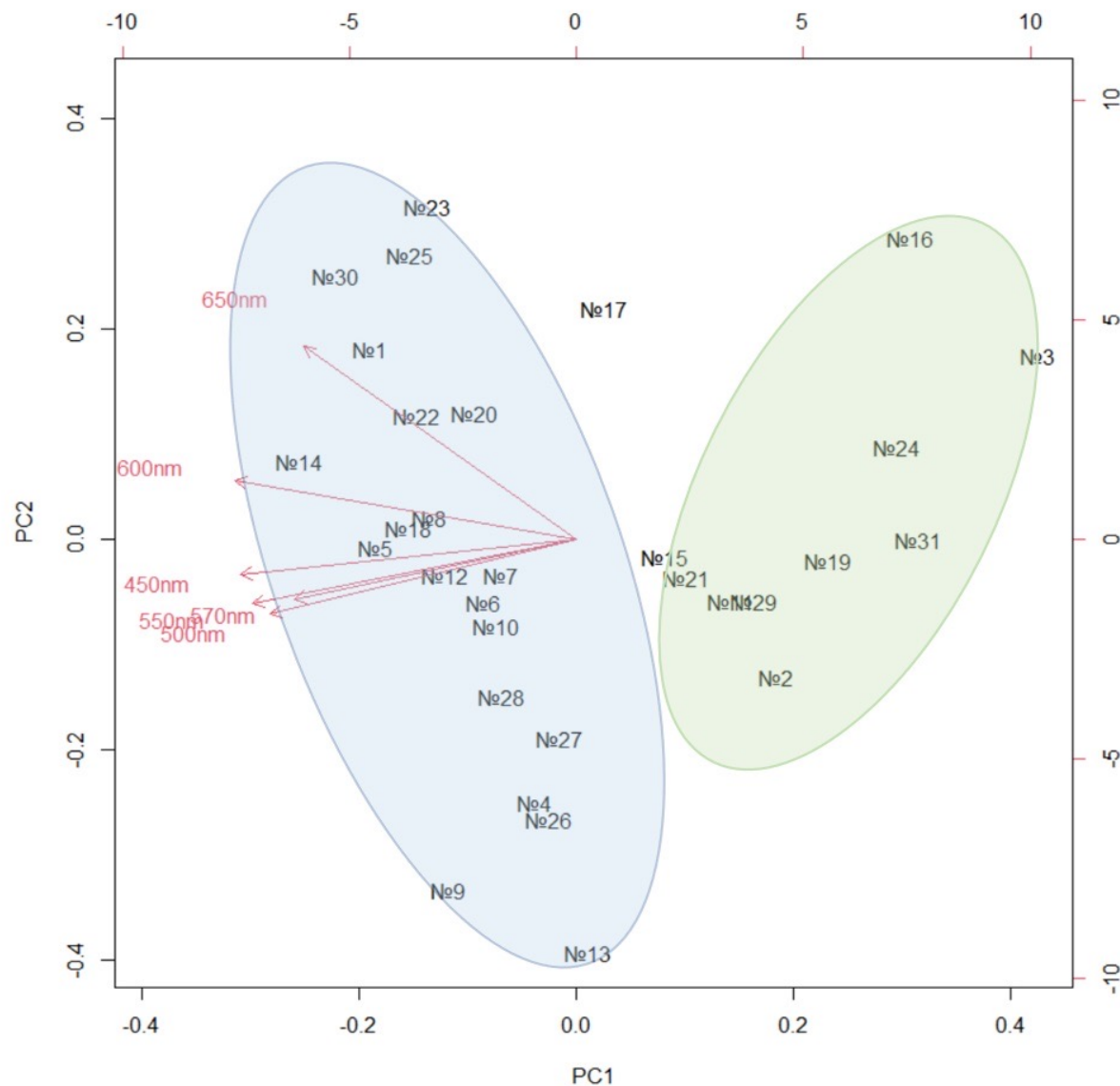


# Применение метода главных компонент



Главная компонента 1 =  $Coef_{11} * ЧСС + Coef_{21} * Сатурация + Coef_{31} * ЧД ... Coef_{N1} * Показатель N$

Главная компонента 2 =  $Coef_{12} * ЧСС + Coef_{22} * Сатурация + Coef_{32} * ЧД ... Coef_{N2} * Показатель N$



**1) Распознавание функционального состояния человека, с последующим обучением системы**

**2) Выявление физиологических показателей реагирующих на изменение состояния человека**

**3) Ответ на вопрос «Как физиологические процессы связаны с изменениями в состоянии человека?»**

Графическое представление 31 испытуемого в пространстве, определенное выбранными двумя главными компонентами

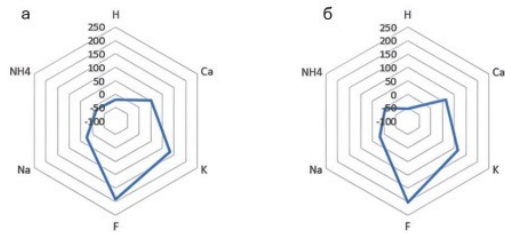


Рис. 2. "Цифровые образы" грудного молока здоровой женщины (а) и женщины, перенесшей в последний месяц вирусное заболевание (б)

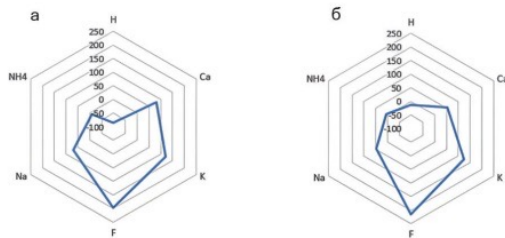


Рис. 3. Визуальное представление "цифрового образа" грудного молока женщины с инфекционным заболеванием молочной железы до приема антибактериальной терапии (а) и после приема терапии (б)

за изменением состояния молока до и после приема антибактериальной терапии.

Результаты проведенных исследований показывают, что "цифровой образ" грудного молока каждой из испытуемых в здоровом состоянии, формируемый композицией потенциалов, генерируемых 7 электрохимическими сенсорами, имеет свои индивидуальные особенности. Заболевание видоизменяет его. Установлено, что "цифровые образы" грудного молока женщины, перенесших заболевания, значительно отличаются от диаграмм грудного молока здоровых.

Выявленные в проведенных экспериментальных исследованиях возможности исследуемой сенсорной системы формировать индивидуальные "образы" грудного молока испытуемых были использованы для формирования алгоритмов обучения сенсорной системы к распознаванию функционального состояния системы мать – новорожденный.

### Метод главных компонент

Были сформированы две таблицы вида "объекты – признаки", где строкам соответствуют объекты

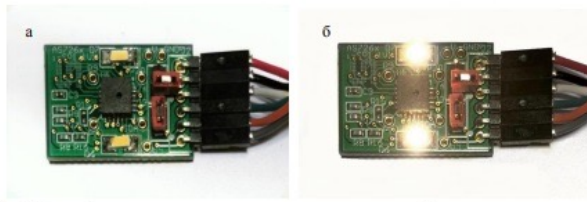


Рис. 1. Внешний вид анализатора оптических спектров с выключенными (а) и включенными светодиодами (б)

волн 450 / 500 / 550 / 570 / 600 / 650 нм, что соответствует фиолетовому / голубому / зеленому / желтому / оранжевому / красному монохроматическим цветам спектра. Каждый канал содержит гауссовский фильтр, обеспечивающий полупрозрачную пропускания излучения 40 нм. Пиковые длины волн находятся на 50 нм друг от друга (за исключением 570 нм).

На рис. 1 изображен внешний вид оптического анализатора спектров с двумя встроенными светодиодами белого света.

Анализатор спектра поддерживает UART-интерфейс с настройками 8 бит, 1 стоп-бит, со скоростью 115 200 бит/с и без проверки переданных данных. Управление датчиками в режиме интерфейса UART заключается в передаче им в текстовом виде команд (AT-команд) управления и в анализе отклика на них. Чтение данных осуществляется посредством команд ATDATA или ATCSDATA. В ответ датчик присылает строку с шестью значениями в виде целых чисел.

Результаты измерения отображаются на персональном компьютере в пользовательском окне программного обеспечения анализатора спектров. Показания анализатора спектров для одного измерения представляют комбинацию численных значений шести датчиков в условных единицах.

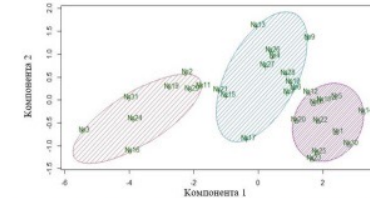
### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были проведены экспериментальные исследования с участием 31 испытуемого мужского пола в возрасте от 18 до 23 лет. Все испытуемые обладали хорошей физической подготовкой и прошли комплексный медицинский осмотр, согласно заключениям которого они не имели серьезных медицинских отклонений и патологических состояний на момент проведения экспериментальных исследований. Для уменьшения процентного со-

образ человека, состоящий из показаний датчиков многоканального анализатора спектров, зарегистрированных в различные моменты времени в течение физической или функциональной нагрузки. Математическими методами кластеризации интеллектуального анализа данных и машинного обучения кислородные цифровые образы могут быть объединены в группы (кластеры) по принципу «схожести».

### 3. Результаты

В результате эксперимента с участием 31 молодого человека при функциональной нагрузке были получены кислородные цифровые образы. Была выполнена обработка результатов различными методами интеллектуального анализа данных: МГК, иерархическими и неиерархическими алгоритмами кластеризации, используя нейронную сеть Кохонена. На рисунке 1 представлен результат кластеризации иерархическим методом k-средних.



Рисунком 1: Результат кластеризации 31 испытуемого методом k-средних в двумерной системе двух главных компонент

В результате анализа испытуемые были разделены на 3 группы с различным уровнем устойчивости организма к гипоксии. Группа испытуемых с низкой устойчивостью обладает неудовлетворительным функциональным состоянием организма, что свидетельствует о необходимости дополнительного медицинского обследования. Результаты подтверждаются независимым медико-биологическим исследованием. Результаты кластеризации испытуемых разными методами подтвердили тенденцию испытуемых к группированию и позволили произвести оценку устойчивости и качества созданного кластерного решения.

### 4. Заключение

Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанную неинвазивную диагностическую систему для определения функционального состояния человека и оценки кислородного обеспечения тканей. Система может применяться в качестве аппаратно-программного комплекса поддержки принятия врачебных решений, а также как автоматизированная система экспресс-диагностики.

### 5. Благодарности

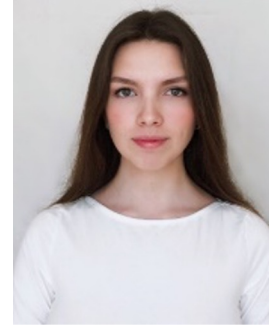
Исследование выполнено в рамках Государственного задания № 075-01073-20-00.



Зайцева Анна Юрьевна,  
к.ф.-м.н., с.н.с., зав.лаб.  
ИАП РАН



Сибирцев Владимир  
Станиславович,  
к.х.н., с.н.с. ИАП РАН



Мазинг Мария Сергеевна,  
м.н.с. ИАП РАН



Семенцова Ирина  
Владимировна, инженер  
ИАП РАН



К.т.н. Буданов Дмитрий  
Олегович, Data Science,  
Политех



Романова Вероника  
Вячеславовна,  
инженер ИАП РАН



Губина Евгения  
Вячеславовна,  
инженер ИАП РАН



Чердникова Арина  
Алексеевна, м.н.с. ИАП  
РАН



Кудрявцева Нина  
Ивановна, инженер  
ИАП РАН



Военно-медицинская  
академия



Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр  
Сибирского отделения Российской академии наук»



Северо-Западный  
федеральный медицинский  
исследовательский центр  
им. В.А. Алмазова





**Мазинг Мария Сергеевна,**

аспирант, м.н.с. Медико-аналитических методов и приборов

Институт Аналитического Приборостроения РАН

[http://iairas.ru/labs/mediko\\_analit\\_about.php](http://iairas.ru/labs/mediko_analit_about.php)

Доцент СПбПУ (Политех)

+7921 9664601

anna@da-24.ru

**Спасибо за внимание!**



**ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН)**